Opusc. Zool. Budapest, XXI, 1985

Bleiakkumulation bei zwei Diplopoden-Arten

Von

M. POBOZSNY*

Abstract. In experiments carried out in cave laboratory and fields two diplopod species, very frequent in Hungary, were fed with litter of *Ulmus laevis* PALL., contaminated with lead. Diplopods acculmulate lead in their body; tissues during 4 months of feeding experiments following lead accumulations could be established: *Chromatoiulus projectus* VERH. 0,08 – 0,11‰ and *Leptoiulus proximus* NEMEC 0,07 – 0,10‰.

Schwermetalle lassen sich in der Natur in verschiedener Menge überall nachweisen. Von einer Schwermetallbelastung kann nur dann gesprochen werden, wenn in einem gegebenen Substrat die Schwermetallkonzentration höher als die natürliche ist. Die anthropogenen Schwermetallverunreinigungen werden durch den Bergbau und deren verschiedene bearbeitungstechnologischen Immissionen in gasförmigem, flüssigem oder in festem Zustand in der Umgebung angetroffen. Um die anthropogenen Schwermetallverunreinigungen vermeiden bzw. beeinflussen zu können, muß das Vorkommen, die Eigenschaft und der Wirkungsmechanismus dieser Stoffe sowie deren Bewegung in der Ökosphäre und entlang der Nahrungskette erkannt werden.

Als Substratfresser nehmen die Vertreter der Bodenfauna zahlreiche schädliche Schwermetallstoffe auf, die durch die Nahrungskette auch in höhere Tiere und zuletzt auch in den Menschen gelangen können.

Eine der bekanntesten Verunreinigungsquellen von Schwermetallen ist die Immission der Kraftfahrzeuge. Die Abgase enthalten aus dem dem Benzin beigefügten Bleitetrametil Blei, bei Verbrauch von Motoröl und Reifenabnützung wird Cadmium und Zink frei, während bei der Abnutzung von mechanischen Bestandteilen Nickel und Chrom der Umgebung übergeben wird (MARTIN u. COUGHTREY, 1982).

Zahlreiche Untersuchungen haben den Unterschied der vom Fahrzeugverkehr verursachten Schwermetallverunreinigungen in der Vegetation und Bodenfauna unmittelbar neben den Verkehrsstrassen und entfernter davon ermittelt (DMOWSKI u. KAROLEVSKI, 1979; GETZ et al., 1979; GILES et al., 1979; GOLDSMITTH u. SCANLON, 1977; MAURER, 1974; MUSKETT, 1981; PRICE et al., 1974; WILLIAMSON u. EVANS, 1972; ZHULIDOV u. EMETS, 1979; usw.).

* *Dr. Mária Pobozsny,* ELTE Állatrendszertani és Ökológiai Tanszék (Lehrstuhl für Tiersystematik und Ökologie der Eötvös-Loránd-Universität), 1088 Budapest, Puskin-u. 3.

Insbesondere aufgrund der in England durchgeführten Messungen konnte festgestellt werden, daß nur 10% des in den Abgasen enthaltenen Bleies sich unmittelbar (100 m Entfernung) am Strassenrand absetzt (LITTLE u. WOFFEN, 1977), die Bleiverunreinigung kann jedoch auch 50–100 km entfernt nachgewiesen werden (CHAMBERLAIN et al., 1979). Über die Schwermetallverunreinigungen, so über die des in die Nahrungskette gelangenden Bleies, stehen uns sozusagen überhaupt keine Angaben zur Verfügung (MARTIN u. COUGHTREY, 1982).

In vorliegender Arbeit wurde zum Ziel gesetzt, die Bleiakkumulation in zwei Diplopoden-Arten anhand von Fütterungsversuchen zu verfolgen sowie eventuelle Zusammenhänge des weiteren Verlaufes in der Nahrungskette zu erörtern.

Material und Methode

Die Untersuchungen wurden an zwei verschiedenen Versuchsstellen durchgeführt. Die eine Untersuchungsstelle wurde im Volkspark (Népliget, Budapest), an der seinerzeit zum Flugplatz führenden Hauptstrasse, die andere Stelle im Botanischen Garten von Vácrátót, abgelegen von jeglichem Fahrzeugverkehr, gewählt. An beiden Stellen kommt die Ulme (*Ulmus laevis* PALL.) vor. Die Ulmen bilden im allgemeinen keine selbständigen Bestände, doch kommen sie in Auenwäldern, Eichen- und Buchenwäldern vereinzelt vor. Sie machen ungefähr 0,6–0,7% des einheimischen Waldbestandes aus, nach Angaben von 1982 werden 2453 ha von Ulmenarten gebildet.

Eine Verunreinigung der Ulmenblätter mit Blei konnte schon von mehreren Autoren nachgewiesen werden (LITTLE u. MARTIN, 1972; LITTLE, 1974), so daß zu den vergleichenden Untersuchungen sich die Ulmen-Blätter äußerst gut eigneten.

Zum Vergleich wurde Ulmenstreu an beiden Stellen in September (1979) gesammelt. Das Sammeln in September erwies sich auch deswegen zweckmäßig, da FIDORA (1972) schon nachweisen konnte, daß die Schwermetallakkumulation im Laub der Laubwälder das Maximum vor dem Laubfall aufweist.

Die Diplopoden-Arten *Chromatoiulus projectus* VERH. und *Leptoiulus proximus* NEMEC wurden mit Ulmenstreu von höherem Bleigehalt gefüttert. Diese Versuche wurden im Höhlenbiologischen Laboratorium der Baradla-Höhle von Aggtelek durchgeführt, wo die Verhältnisse für Fütterungsversuche am günstigsten waren (ZICSI u. POBOZSNY, 1977). Die Tiere (50 bzw. 60 Exemplare) wurden vom 25. IX. 1979 bis 24. I. 1980 vier Monate hindurch mit 20 g bzw. 60 g Ulmenstreu gefüttert. Am Ende des Versuches wurde der Bleigehalt der gefütterten Tiere bestimmt, und mit dem vor dem Versuch verglichen (Kontrolltiere). Ebenfalls wurde auch der Bleigehalt der von den Tieren erzeugten Exkremente festgestellt. Jede Untersuchung erfolgte in je zwei Parallelen.

Der Bleigehalt wurde mit Hilfe des UNICAM Atomabsorptionsspektralapparat bestimmt.

Zur Ergänzung der oben angeführten Untersuchungen wurden mit den beiden Diplopoden-Arten auch ernährungsökologische Untersuchungen durchgeführt, um ihren Anteil an der Zersetzung der Ulmenstreu feststellen zu können. Diese Untersuchungen wurden, um naturnahe Ergebnisse zu erzielen zu können, im Freiland durchgeführt. In die früher schon öfters benützten und sich gut bewährten unemaillierten Tonschalen (GERE, 1958) wurde 1,5–2,0 g *Ulmus laevis*-Streu getan, und in jede Schale wurden je 5 Tiere von bekannten Gewicht

untergebracht. Die Schalen wurden mit einem Kunststoffnetz bedeckt und in den Boden so eingesenkt, daß sie mit der Bodenoberfläche in einem Niveau zu liegen kamen. Die Tonschalen übernahmen nach kurzer Zeit die Temperatur- und Bodenfeuchtigkeitsverhältnisse der Umgebung. Während der Untersuchungen wurde die Bodenfeuchtigkeit und Bodentemperatur mit Apparaten vom Type Wile bestimmt. Die zur Verfütterung gelangenden Streublätter wurden im Volkspark von Budapest monatlich gesammelt, zuerst Ende September 1982. Die Tiere erhielten so monatlich das dem im Freien entsprechend vorzersetzte Laub. Die Versuchen wurden in je 5 Parallelen durchgeführt, die Kontrolle in gleicher Zahl, ohne Tiere. Nach Beendung je einer Versuchsperiode wurde das Gewicht der Tiere bestimmt, die erzeugten Exkremente, und die ungefressene Menge des Streus wurde ebenfalls gemessen. Sämtliche Angaben werden im absoluten Trockengewicht (bei 105 °C bestimmt) angegeben.

Der Nahrungskonsum der Tiere (pro ein g Lebendgewicht der Tiere) wurde unter Berücksichtigung der Formel von Reiman (Zicsi u. Pobozsny 1977) errechnet.

Die Untersuchungen wurden auch mit chemischen Analysen der zur Verfütterung angebotenen Fallaubs ergänzt. Für die Bestimmung folgender Parameter wurden in der Bodenkunde übliche Methoden (di Gléria u. Ballenegger, 1962; Schlichting u. Blume, 1966) benutzt: gesamte organische Substanz, gesamter Stickstoffgehalt, und Stabilitätskoeffizient. Mit der Streustoffgruppenanalyse wurden die Fette und Gerbstoffe, Zucker und Stärke, Hemizellulose und Pektin, Zellulose und der Ligningehalt bestimmt. Zur Feststellung der Zusammenhänge wurde die Korrelation bestimmt, hauptsächlich Rangkorrelationberechnungen durchgeführt (Sváb, 1967).

Die Bleibestimmungen wurden von Prof. Dr. M. Kovács, der damaligen Mitarbeiterin des Botanischen Institutes Vácrátót durchgeführt. Für ihre Bemühungen soll auch an dieser Stelle unser bester Dank ausgesprochen werden.

Ergebnisse

Bei der Bekanntmachung der Ergebnisse werden in erster Linie die durch den Fahrzeugverkehr verursachten Verunreinigungen und deren Veränderungen im Bleigehalt berücksichtigt (Tabelle 1 und 2).

Die Ergebnisse des Nahrungskonsums und der Kotproduktion der beiden Arten werden in Tabelle 3 und 4 zusammengefaßt.

Da der Zustand der Ulmenstreu im Mai schon stark degradiert war, wurde wegen Sammelschwierigkeiten von einer weiteren Verfütterung abgesehen.

Tabelle 1. Bleigehalt der Ulmus laevis Streu von zwei verschiedenen Untersuchungsstellen (3 – 3 Paralleluntersuchungen)

Sammelstelle	Pb ppm	Pb ppm Durchschnitt
Volkspark (verunreinigt)	106 – 118	113
Vácrátót (nicht verunreinigt)	18 – 22	20

Tabelle 2. Bleigehalt der mit Blei verunreinigter Streu gefütterten Diplopoden und deren Exkremente

Art	Pb ppm
Chromatoiulus projectus	
Kontrolltiere	59,04
gefütterte Tiere	
A Versuch	80,47
B Versuch	87,34
Exkremente	
A Versuch	215,02
B Versuch	195,91
Leptoiulus proximus	
Kontrolltiere	40,55
gefütterte Tiere	
A Versuch	175,97
B Versuch	126,12

Tabelle 3. Nahrungskonsum und Kotproduktion von Chromatoiulus projectus von der in verschiedenen Monaten gesammelten Ulmenstreu

Streu der verschiedenen Monate	Nahrungskonsum in mg/g/Tag	Kotproduktion in mg/g/Tag
September	15,9	12,5
Oktober	22,8	21,5
November	14,6	13,1
Dezember	21,9	17,8
Januar	94,7	84,8
Februar	73,3	67,2
März	—	—
April	39,2	37,4

Tabelle 4. Nahrungskonsum und Kotproduktion von Leptoiulus proximus von der in verschiedenen Monaten gesammelten Ulmen-Streu

Streu der verschiedenen Monate	Nahrungskonsum in mg/g/Tag	Kotproduktion in mg/g/Tag
September	24,9	18,0
Oktober	30,1	27,1
November	18,9	16,8
Dezember	24,9	21,4
Januar	122,6	142,4
Februar	63,8	60,5
März	—	—
April	86,5	86,8

Abbildung 1 und 2 enthält die Angaben der Bodenfeuchtigkeit in Prozent der verfügbaren Wasserkapazität und die Bodentemperaturen.

Die ergänzenden chemischen Analysenergebnisse werden in Tabelle 5 zusammengefaßt, bzw. auf Abbildung 3 veranschaulicht. Bereits in April konnte nur so wenig Streu gesammelt werden, dass diese zu den chemischen Analysen nicht auslangten, so daß wir nur über Angaben bis zum Monat Februar verfügen.

Tabelle 5. Einige chemische Parameter der mit Diplopoden verfütterten Ulmenstreu

Streu der verschiedenen Monate	Gesamt-organische Substanz %	Gesamt-stickstoff %	Stabilitäts-koeffizient $k \cdot 10^3$	C/N
September	76,69	2,76	6,76	16,1
Oktober	61,38	2,64	10,21	13,5
November	61,30	2,80	9,04	12,7
Dezember	58,71	2,80	8,33	12,1
Januar	51,79	2,93	11,64	10,2
Februar	51,93	2,64	12,73	11,4

Wertung der Ergebnisse

Aus vorausgehenden Untersuchungen ist bereits bekannt, daß an Stellen, die dem Fahrzeugverkehr näher ausgesetzt sind, auch die Belastungen mit Schwermetallen bedeutend höher liegen, als an solchen, die entfernter sind (Williamson u. Evans, 1972, 1973; Maurer, 1974; Muskett, 1981; Muskett u. Jones, 1980). Diese Feststellungen werden auch durch unsere Ergebnisse

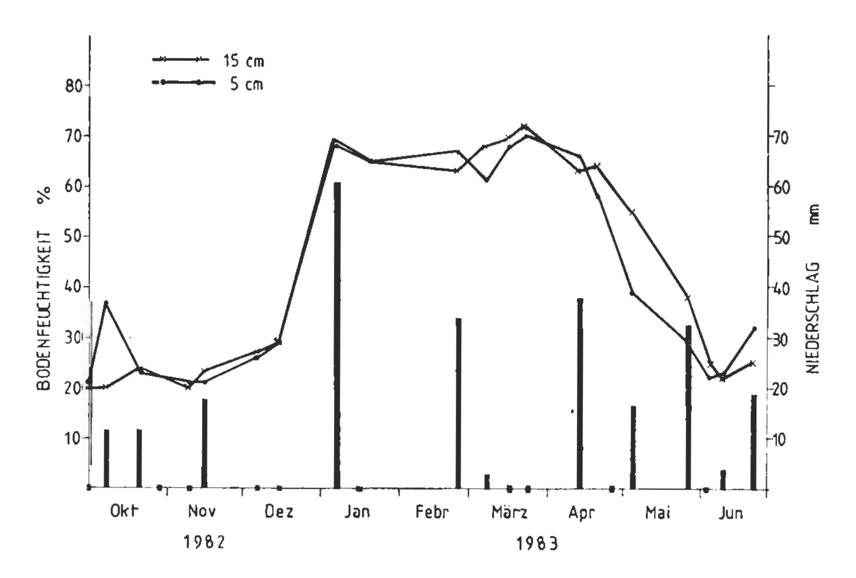


Abb. 1. Bodenfeuchtigkeits- und Niederschlagwerte an der Untersuchungsgebiet. (— Bodenfeuchtigkeit, | Niederschlag)

unterstützt, wonach direkt neben der Verkehrsstrasse der Bleigehalt der Ulmenblätter das 5,0–5,5-fache betrug (Tabelle 1). Die quantitativen Veränderungen der chemischen Bestandteile der zur Verfütterung von Tieren benutzten Streu sind aus Tabelle 5 und aus Abbildung 3 ersichtlich. In der Streu verringert sich durch den Abbau die Menge der organischen Substanz, nach einem kurzen Anstieg am Anfang fällt der Stickstoffgehalt ebenfalls, von diesen beiden Parametern abhängend verringert sich das C/N Verhältnis. Wie aus Abbildung 3 ersichtlich, verringern sich während der Abbauprozesse von den organischen Komponenten – infolge der mikrobiologischen Zersetzung – vor allem die Fette und Gerbstoffe, in der Menge der übrigen Komponenten läßt sich eine so eindeutige Tendenz nicht verfolgen, dies ist auf die komplizierten chemischen und biochemischen Prozesse, die sich im Fallaub abspielen, zurückzuführen. Auszuschliessen sind jedoch auch gewisse Umgebungsfaktoren nicht, wie z. B. die Lösungsfähigkeit des Niederschlagswassers.

Übereinstimmend mit vorausgehenden Angaben, bzw. mit denen der Literatur sind die Konsumwerte bzw. die Ergebnisse der Kotproduktion bei den ernährungsökologischen Untersuchungen (Tabelle 3 und 4).

Vom Laubfall beginnend steigt bei beiden Arten der Konsumwert – abgesehen von einigen kleineren Schwankungen – parallel mit dem Zersetzungsgrad der Laubstreu. In diesem Verhältnis steigt ebenfalls die Kotproduktion, übrigens wurde bei vielen Diplopoden-Arten ein linearer Zusammenhang zwischen dem Konsum und der Kotproduktion festgestellt (DUNGER, 1958; POBOZSNY, 1985).

Früher wurde bereits darauf hingewiesen (POBOZSNY, 1985), daß bei den Diplopoden, insbesondere bei *Chromatoiulus projectus* ein gewisser Ernährungsrhythmus beobachtet werden konnte, der von Umweltsfaktoren zwar beeinflußt werden kann, hauptsächlich vom biologischen Rhythmus des Tieres jedoch abhängt. Unterstützt wird diese letztere Annahme auch dadurch, daß eine Korrelation zwischen dem Feuchtigkeitsgehalt des Bodens (Abb. 1) und dem Konsum

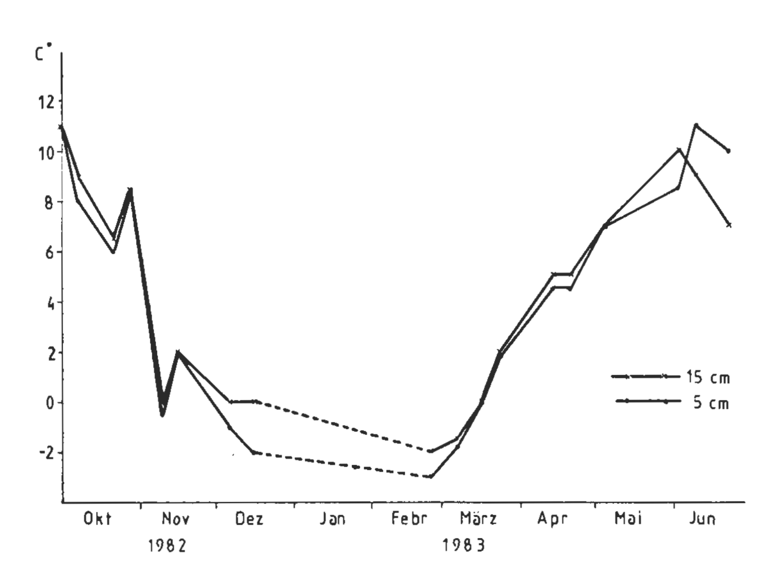


Abb. 2. Bodentemperaturwerte an der Untersuchungsgebiet

zwar besteht, aber keine Zusammenhänge sich zwischen der Menge der chemischen Zusammensetzung und der Verkehrbarkeit der Nahrung feststellen lassen.

Wie aus den Ergebnissen ersichtlich, besteht eine Akkumulation des Bleies in den Tieren, bei *Chromatoiulus projectus* konnte ein Anstieg von 36,3–47,9% im Vergleich zu den Kontrolltieren beobachtet werden, während bei *Leptoiulus proximus* dieser 87,4–128,9% betrug. Bei einem Vergleich dieser Ergebnisse mit denen der Konsumwerte (Tabelle 4 und 5) konnte festgestellt werden, daß bei einem 4-monatigen Versuch (September–Januar) *Ch. projectus* 0,08–0,11‰-des im Futter vorhandenen Bleies. *L. proximus* 0,07–0,10‰- akkumulierte.

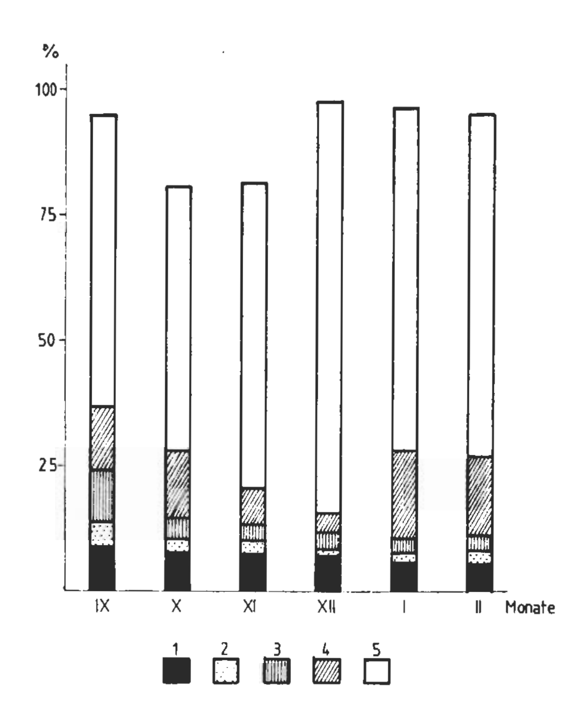


Abb. 3. Ergebnisse der Streustoffgruppenanalyse der in verschiedenen Monate gesammelten Ulmenstreu. (*1* Fette und Gerbstoffe, *2* Zucker und Stärke, *3* Hemizellulose, *4* Zellulose, *5* Lignin)

Da die Diplopoden auch von anderen Tieren gefressen werden, muß damit gerechnet werden, daß dieses Blei auch auf diesem Weg in die Nahrungskette gelangen kann. TÖRÖK (1981) konnte z. B. in einem Eichenbestand in der Nähe von Budapest aufgrund seiner Untersuchungen nachweisen, daß die Diplopoden 0,7 Gewichtsprozent der Gesamtnahrung bei Jungtieren der Amsel ausmachen (wo von *Ch. projectus* 0,46%). Schon früher wurde festgestellt, daß in der Amsel die Bleiablagerungen bedeutend sein können (107–127 ppm) (KOVÁCS, 1979; BERCZIK u. BORHIDI, 1979).

Wenn berücksichtigt wird, daß die Schwermetalle im allgemeinen, so auch das Blei auf die Funktion des Ökosystems einen ungünstigen Einfluss ausüben (MARTIN u. COUGHTREY, 1981, usw.), wäre es von größter Bedeutung den Weg dieser gefährlichen Schwermetalle in der Nahrungskette gründlicher zu erforschen.

SCHRIFTTUM

1. Ballenegger, R. & Di Gléria, J. (1962): Talaj- és trágyavizsgálati módszerkönyv. – Budapest, 1–411.

2. Berczik, Á. & Borhidi, A. (1979): A Budapesti Agglomeráció környezetfejlesztésének ökológiai problémái és környezetbiológiai kutatási terve. – MTA Biol. Oszt. Közl., 22: 367–389.

3. Chamberlain, A. C., Heard, M. J., Little, P. & Wiffen, R. D. (1979): The dispersion of lead from motor vehicle exhausts. – Phil. Trans. R. Soc. Lond., 290A: 577–589.

4. Dmowski, K. & Karolewski, M. A. (1979): Cumulation of zinc, cadmium and lead in invertebrates and in some vertebrates according to the degree of an area contamination. – Ekologia Polska, 27: 333–349.

5. Dunger. W. (1958): Über die Zersetzung der Laubstreu durch die Boden-Makrofauna im Auenwald. – Zool. Jb. Syst., 86: 139–180.

6. Fidora, B. (1972): Der Bleigehalt von Pflanzen verkehrsnaher Standorte in Abhängigkeit von der Vegetationsperiode. – Ber. Deutsche Bot. Ges., 85: 219–227.

7. Gere, G. (1958): Methode zur Lebendhaltung und Zucht von Arthropoden der Waldböden. – Acta Zool. Hung., 3: 225–231.

8. Getz, L. L., Rolfe, G. L., Haney, A. W., Wortman, R. L., Larimore, R. W., McNurney, J. W., Hudson, J. L., Leland, H. V., Solomon, R. L., Reinbold, K. A. & Price, P. W. (1979): Transport and distribution in a watershed ecosystem. – In: Boggess, W. R. & Wixson, B. G. (eds.): Lead in the environment. Washington, 105–134.

9. Giles, F. E., Middleton: S. G. & Grau, J. G. (1973): Evidence for the accumulation of atmospheric lead by insects in areas of high traffic density. – Environ. Entomol., 2: 299–300.

10. Goldsmith, C. D. & Scanlon, P. F. (1977): Lead levels in small mammals and selected invertebrates associated with highways of different traffic densities. – Bull. Environ. Contam. Toxic., 17: 311–316.

11. Kovács, M. (1979): A nagyvárosok ökológiai viszonyai. – MTA Biol. Oszt. Közl., 22: 391–405.

12. Little, P. (1974): Airborne zinc, lead and cadmium pollution and its effects on soils and vegetation. – PhD. thesis, University of Bristol.

13. Little, P. & Martin, M. H. (1972): A survey of zinc, lead and cadmium in soil and natural vegetation around a smelting complex. – Environ. Pollut., 3: 241–254.

14. Little, P. & Wiffen, R. D. (1977): Emission and deposition of petrol engine exhaust lead. 1. Deposition of exhaust lead to plant and soil surfaces. 2 A study of lead deposition alongside the M4 motorway. – Atmos. Environ., 11: 437–447.

15. Martin, M. H. & Coughtrey, P. J. (1981): Impact of metals on ecosystem function and productivity. – In: Lepp, N. W. (ed.): Effect of heavy metal pollution on plants. Vol. 2. London and New Jersey, 119–158.

16. Martin, M. H. & Coughtrey, P. J. (1982): Biological monitoring of heavy metal pollution. – London and New York, 1–475.

17. Maurer, R. (1974): Die Vielfalt der Käfer- und Spinnenfauna des Wiesenbodens im Einflussbereich von Verkehrsimmissionen. – Oecologia, 14: 327–351.

18. Muskett, C. J. (1981): The influence of some motor-vehicle derived heavy metals on terrestrial ecosystems. – In: Heavy metals in the environment. International Conference, Amsterdam, September 1979. Edinburgh, 259–262.

19. Muskett, C. J. & Jones, M. P. (1980): The dispersal of lead, cadmium and nickel from motor vehicles and effects on roadside invertabrate macrofauna. – Environ. Pollut., 23A: 231–242.

20. Pobozsny, M. (1984): Die Bedeutung der Diplopoden-Art Chromatoiulus projectus Verh. bei der Zersetzung von Eichenstreu. – Opusc. Zool. Budapest,

21. Price, P. W., Rathcke, B. J. & Gentry, D. A. (1974): Lead in terrestrial arthropods: Evidence for biological concentration. – Environ. Entomol., 3: 370–372.

22. Schlichting, E. & Blume, H. P. (1966): Bodenkundliches Praktikum. – Hamburg und Berlin, 1–209.

23. SVÁB, J. (1967): Biometriai módszerek a mezőgazdasági kutatásban. – Budapest, 1–499.

24. TÖRÖK, J. (1981): Food composition of nestling blackbirds in an oak forest bordering on an orchard. – Opusc. Zool. Budapest, 17–18: 145–156.

25. WILLIAMSON, P. & EVANS, P. R. (1972): Lead levels in roadside invertebrates and small mammals. – Bull. Environ. Contam. Toxicol., 8: 280–288.

26. WILLIAMSON, P. & EVANS, P. R. (1973): A preliminary study of the effects of high levels of inorganic lead on soil fauna. – Pedobiologie, 13: 16–21.

27. ZHULIDOV, A. V. & EMETS, M. (1979): Accumulation of lead in the bodies of beetles in contaminated environments associated with automobile exhausts. – Dokl. Akad. Nauk SSSR, 6: 1515–1516.

28. ZICSI, A. & POBOZSNY, M. (1977): Einfluß des Zersetzungsverlaufes der Laubstreu auf die Konsumintensität einiger Lumbriciden-Arten. – Soil Organisms as Components of Ecosystems, Ecol. Bull. (Stockholm), 25: 229–239.